



Universidade Federal do ABC

Otimização do Uso da Terra no Cerrado Brasileiro

Conciliando Lucro Agrícola, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos

Análise e Revisão do Artigo Kennedy et al. (2016) — Biological Conservation 204, 221–230

[Link do Artigo para Download](#)

M.Sc. Rodrigo Sagaseta de Oliveira Souza
Doutorando em Engenharia da Informação

Ciências Ambientais - Apresentação dia 31 de Julho de 2026



Contexto e Relevância

O Cerrado brasileiro é o **segundo maior bioma do país**, abrangendo cerca de 2 milhões de km² e reconhecido como um hotspot global de biodiversidade, com mais de 4.800 espécies de plantas e vertebrados endêmicos. Ao mesmo tempo, é a principal fronteira agrícola do Brasil, responsável por aproximadamente **60% da produção agropecuária nacional**, com expansão acelerada de cana-de-açúcar, soja e pecuária.

Desmatamento Crítico

As taxas de desmatamento no Cerrado têm superado proporcionalmente as da Amazônia, tornando a região um epicentro do conflito entre produção e conservação.

Lacuna Científica

Modelos tradicionais tratam conservação e produção como domínios separados. O artigo propõe uma abordagem integrada e espacialmente explícita, inédita para o bioma.

Pergunta Central

É possível conciliar expansão agropecuária com o cumprimento do Código Florestal e a manutenção de serviços ecossistêmicos essenciais?

Objetivos do Estudo

O objetivo geral é integrar modelos econômicos espacialmente explícitos com modelos biofísicos para otimizar simultaneamente lucro agrícola, biodiversidade e qualidade da água no Cerrado brasileiro — uma abordagem multiobjetivo inédita para esse bioma.

01 - Quantificar Trade-offs

Mensurar as relações entre produção agropecuária (cana-de-açúcar e pecuária bovina) e conservação da biodiversidade de aves e mamíferos.

02 - Avaliar Qualidade da Água

Estimar os impactos sobre a retenção de nitrogênio, fósforo e sedimentos nos corpos hídricos do Cerrado.

03 - Identificar Limiares

Detectar pontos de inflexão não lineares nas relações entre lucro agrícola e serviços ecossistêmicos.

04 - Comparar Cenários Legais

Contrastar o cumprimento do Código Florestal em nível de propriedade individual versus planejamento em escala de paisagem.

05 - Propor Estratégias

Desenvolver recomendações de planejamento territorial multiobjetivo para tomadores de decisão e formuladores de políticas públicas.

Metodologia - Parte 1: Modelagem



Lucro Agrícola

Rentabilidade de cana-de-açúcar e pecuária bovina em células de 1 km², usando produtividade por hectare, preços de mercado e custos de produção. Dados: censos agropecuários e séries históricas.



Biodiversidade

Riqueza de espécies de aves e mamíferos modelada por distribuição potencial com dados de ocorrência e validada por inventários de campo. Indicador sensível à conversão de habitat nativo.



Qualidade da Água

Retenção de nitrogênio, fósforo e sedimentos modelada com o InVEST. Parâmetros: uso da terra, tipos de solo, declividade e precipitação média anual na bacia hidrográfica.

Metodologia - Parte 2: Desenho Experimental

Abordagem de Otimização

O estudo emprega **fronteiras de possibilidade de produção** (production possibility frontiers) para identificar soluções

Pareto-eficientes. O algoritmo combina programação linear com busca espacial, permitindo explorar o espaço completo de trade-offs entre os objetivos econômicos e ambientais.

Cenários Analisados

Cenário	Descrição
Irrestrito	Sem restrições legais de reserva legal ou APP
FC-PL	Código Florestal cumprido por propriedade individual
FC-LL	Código Florestal com planejamento em escala de paisagem

Resultados: Oportunidades de Melhoria

A paisagem atual do Cerrado encontra-se **distante da fronteira de eficiência**, revelando oportunidades concretas de melhorar simultaneamente o desempenho econômico e ambiental sem sacrificar um pelo outro.

Relações Não Lineares

Elevados ganhos de produtividade podem ser obtidos com perdas ambientais relativamente pequenas nos patamares iniciais de conversão do Cerrado.

Limiares Críticos

A partir de determinado limiar, as perdas ambientais tornam-se desproporcionais aos ganhos econômicos marginais — evidenciando um ponto de inflexão irreversível.

Planejamento Multiobjetivo

Estratégias que otimizam múltiplos serviços simultaneamente reduzem significativamente os trade-offs em comparação com abordagens que maximizam um único objetivo.



Resultados - Limiares Críticos de Vegetação Nativa

20-25%

Percentual crítico de vegetação nativa na paisagem identificado pelo estudo como limiar ecológico fundamental.

Este valor coincide exatamente com as exigências mínimas do Código Florestal Brasileiro — 20% de Reserva Legal no Cerrado, acrescida das Áreas de Preservação Permanente.

Por que esse limiar importa?

Abaixo de 20-25% de cobertura nativa, as perdas de biodiversidade e qualidade da água tornam-se **desproporcionalmente elevadas** e potencialmente irreversíveis. Acima desse patamar, o sistema ecológico mantém capacidade de resiliência e provisão de serviços.

A descoberta reforça que o Código Florestal brasileiro, frequentemente criticado por setores produtivos, estabelece parâmetros que **coincidem com limites ecológicos reais**, funcionando como salvaguarda contra a degradação acelerada dos serviços ecossistêmicos.

Resultados: Propriedade vs. Paisagem



O planejamento em nível de paisagem (**FC-LL**) apresentou desempenho **significativamente superior** ao cumprimento individual por propriedade (**FC-PL**), demonstrando que a escala de análise determina a eficiência das estratégias de conservação.

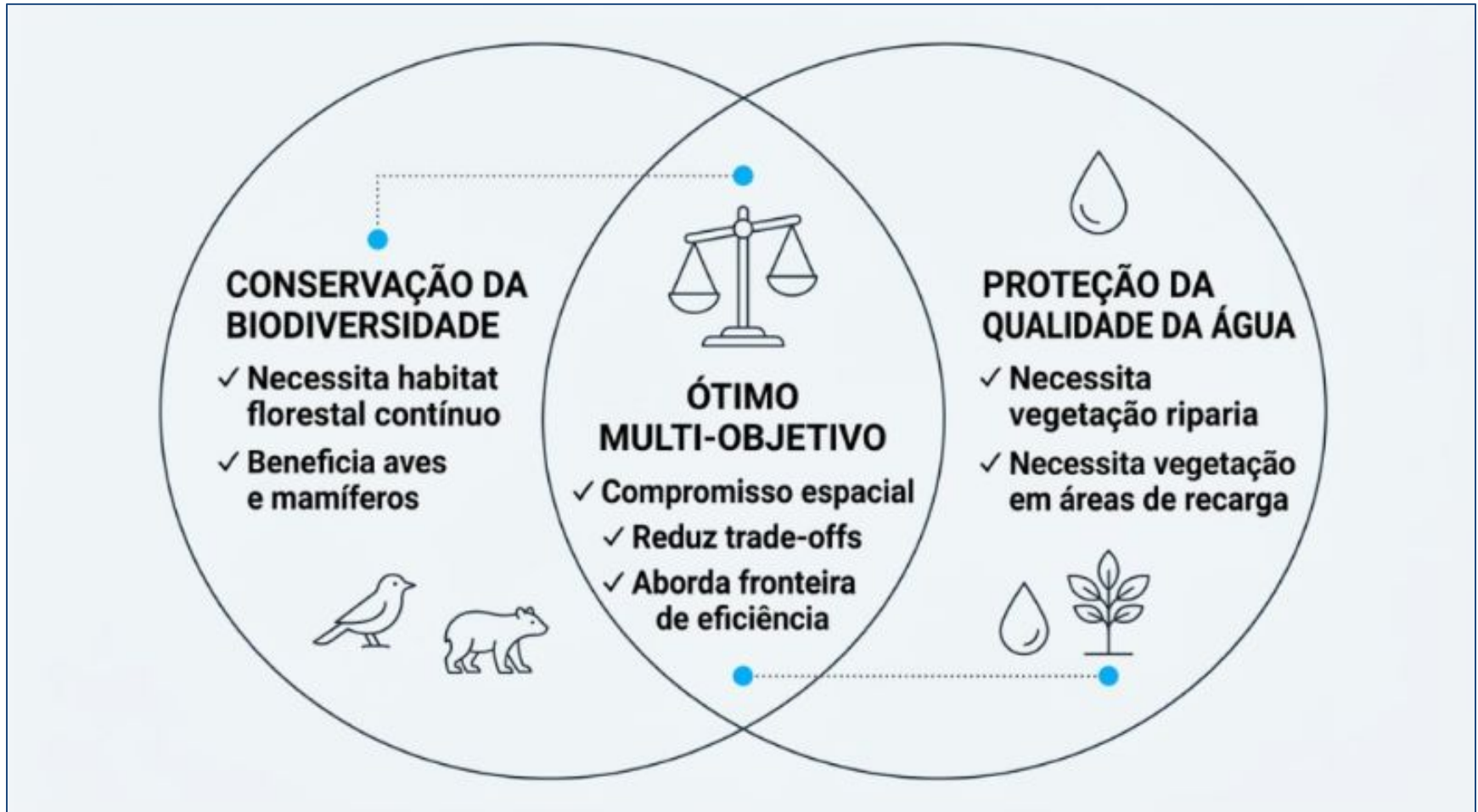
FC-PL - Por Propriedade

A rigidez da alocação individual impõe custos de oportunidade desnecessários ao produtor rural, sem garantir maior proteção ecológica. Fragmentos isolados têm maior valor para a biodiversidade.

FC-LL - Por Paisagem

Permite alocação mais eficiente dos remanescentes, criação de corredores ecológicos, redução dos custos de oportunidade e maior eficiência ecológica por área conservada.

Resultados: Trade-offs entre Serviços Ecossistêmicos



Uma das descobertas mais relevantes do estudo é que os trade-offs entre biodiversidade e qualidade da água são **substanciais quando o planejamento foca em apenas um serviço**. Estratégias univariadas criam ineficiências que o planejamento multiobjetivo é capaz de superar.

A solução ótima emerge do **compromisso espacial** entre habitat florestal contínuo (favorável à biodiversidade) e retenção de vegetação ripária e áreas de recarga hídrica (favorável à qualidade da água), aproximando as fronteiras de eficiência de ambos os objetivos simultaneamente.

Discussão: Implicações para Políticas Públicas

Zoneamento Ecológico-Econômico

Os resultados reforçam a necessidade de instrumentos de planejamento regional que operem em escala de paisagem, transcendendo os limites de propriedade individual e integrando objetivos econômicos e ambientais.

Flexibilização com Salvaguardas

A compensação de reserva legal entre propriedades, já prevista na Lei 12.651/2012, encontra respaldo científico nos resultados — desde que acompanhada de mecanismos de conectividade ecológica e monitoramento rigoroso.

Pagamento por Serviços Ecossistêmicos

A identificação de limiares críticos e zonas de eficiência orienta o desenho de esquemas de PSE mais eficazes, direcionando incentivos econômicos para áreas de maior retorno ambiental marginal.

Conclusões

Kennedy et al. (2016) demonstram que é possível e necessário integrar objetivos econômicos e ecológicos no planejamento do uso da terra no Cerrado. A abordagem multiobjetivo e espacialmente explícita representa um avanço metodológico significativo para a Ecologia da Paisagem e para a formulação de políticas ambientais no Brasil.

Eficiência é Atingível

A paisagem atual está longe da fronteira de eficiência — reorganizações espacialmente inteligentes podem gerar ganhos simultâneos de produção e conservação.

O Código Florestal tem Base Ecológica

O limiar de 20–25% de vegetação nativa confirmado pelo modelo coincide com as exigências legais, legitimando cientificamente as diretrizes da Lei 12.651/2012.

Escala Importa

O planejamento em nível de paisagem é superior ao cumprimento por propriedade individual, tanto em termos ecológicos quanto econômicos.

Siglas e Acrônimos

Siglas e Acrônimos do Artigo

Sigla	Significado por extenso (Português)	Significado por extenso (Inglês original)
FC	Código Florestal	Forest Code
FC-PL	Código Florestal — Nível da Propriedade	Forest Code — Property Level
FC-LL	Código Florestal — Nível da Paisagem	Forest Code — Landscape Level
InVEST	Avaliação Integrada de Serviços Ecossistêmicos e Trade-offs	Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs
N	Nitrogênio	Nitrogen
P	Fósforo	Phosphorus
SI	Informação Suplementar	Supplementary Information
CAR	Cadastro Ambiental Rural	Rural Environmental Registry
PRA	Programa de Regularização Ambiental	Environmental Regularization Program
RL	Reserva Legal	Legal Reserve
APP	Área de Preservação Permanente	Permanent Preservation Area
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico	Ecological-Economic Zoning
ILPF	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	Crop-Livestock-Forest Integration
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais	Payment for Environmental Services
TNC	The Nature Conservancy	The Nature Conservancy

Siglas e Acrônimos

Observações

- **N** e **P** são notações químicas utilizadas no artigo para representar os nutrientes monitorados nos serviços de qualidade da água (retenção de nitrogênio e fósforo).
- **FC**, **FC-PL** e **FC-LL** são os acrônimos centrais do desenho experimental, utilizados para designar os três cenários comparados de cumprimento do Código Florestal.
- **InVEST** é o nome do modelo biofísico empregado para quantificar os serviços ecossistêmicos de retenção de nutrientes e sedimentos.
- **CAR**, **PRA**, **RL**, **APP**, **ZEE**, **ILPF** e **PSA** são siglas do arcabouço legal e das políticas públicas brasileiras discutidas nas implicações do estudo, não necessariamente grafadas no texto original do artigo, mas diretamente associadas ao seu conteúdo temático.
- **TNC** é a instituição de afiliação do primeiro autor e de outros coautores (The Nature Conservancy).